

УДК 621.372.852.2

ФАЗОВРАЩАТЕЛЬ ТРОМБОННОГО ТИПА С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПЕРЕХОДАМИ

Е.Т. Протасевич

Томский политехнический университет

E-mail: lev@tpu.ru

Описано простое и надежное устройство для согласования подвижного соединения волноводов, уменьшающее паразитное излучение передаваемой СВЧ мощности и исключающее искрение волноводов различного поперечного сечения в местах их контактов.

Фазовращатели (фазосдвигатели) находят широкое применение как в измерительной технике, так и при разработке фазированных антенных решёток. В первом случае их работа происходит на низком уровне мощности (десятки мВт...1 Вт), во втором случае – на высоком уровне мощности (десятки кВт...сотни МВт).

В традиционной конструкции фазовращателя при перемещении диэлектрической пластины внутри волновода можно плавно изменять длину волны λ_g на участке размещения такой пластины и, тем самым, регулировать электрическую длину линии. Другими словами, можно изменять отношение геометрической длины волновода к длине волны λ_g , т.е. осуществлять сдвиг фазы. Такое устройство хорошо работает на низком уровне мощности. Однако размещение диэлектрической пластины внутри волновода резко снижает его электрическую прочность на высоком уровне мощности. Проблема пробоя в волноводном тракте приобретает особую актуальность в 3-х сантиметровом диапазоне длин волн, когда толщина диэлектрической пластины превышает 10 % ширины волновода.

Электрическую длину волновода можно также менять механическим путем. Примером такой конструкции является фазовращатель тромбонного типа, представленный на рис. 1. Электрическая длина линии, а следовательно, и сдвиг фазы выходного сигнала обеспечиваются в нем за счет взаимного перемещения волноводов 1 и 2.

Кроме сдвига фазы ϕ существуют и другие инженерные задачи, при решении которых требуется размещение одного волновода внутри другого с последующим взаимным перемещением волноводов. При этом необходимо не только хорошее согласование такого подвижного соединения, но и отсутствие искрения в месте контакта волноводов.

В статическом состоянии фазовращатель тромбонного типа исключает электрический пробой в волноводе. Однако сильные искрения при передаваемой мощности $P > 10$ кВт делают невозможным его применение в установках большой мощности, когда необходимо осуществлять регулировку фазы. Кроме того, в месте контакта волноводов наблюдается также паразитное излучение СВЧ мощности из-за разрыва путей протекания поверхностных токов, направленных вдоль сочленяемых волноводов.

Цель настоящего сообщения – описание фазовращателя со специальным переходом, обеспечивающим хорошее согласование подвижного соедине-

ния волноводов различного поперечного сечения, уменьшающим излучение СВЧ мощности и исключающим искрение в месте контакта волноводов. В качестве примера рассмотрим конструкцию и результаты экспериментальной проверки фазовращателя тромбонного типа.

Для решения поставленной задачи предлагается размещать в месте соединения волноводов специальные вкладыши, выполненные из сплошного диэлектрика, как это показано на рис. 2. Фазовраща-

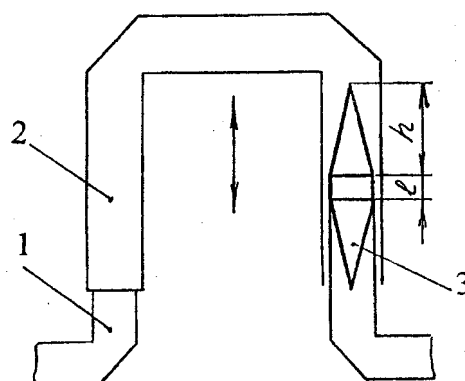


Рис. 1. Схема практического использования диэлектрического перехода, обеспечивающего подвижное соединение волноводов различного поперечного сечения в фазовращателе тромбонного типа: 1) входной и выходной волноводы; 2) U-образное колено; 3) диэлектрический согласующий вкладыш

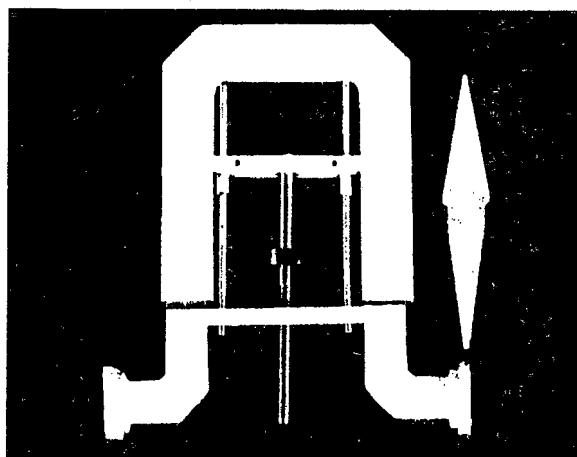


Рис. 2. Внешний вид фазовращателя (слева) с диэлектрическим вкладышем (справа)

тель изготовлен из стандартных волноводов трехсантиметрового диапазона длин волн: входной и выходной волноводы — 1 имеют поперечное сечение $23 \times 12 \text{ мм}^2$, а U-образное колено — 2 имеет сечение $28 \times 12 \text{ мм}^2$.

Вкладыши — 3 играют роль диэлектрических антенн [2], концентрирующих на своих вершинах электрическое поле волны. Они представляют собой две пирамидки, обращенные основаниями друг к другу, которые соединяются между собой через прямоугольный участок диэлектрика, заполняющего все поперечное сечение волновода — 1 (рис. 2). В настоящее время еще не разработана теория, корректно описывающая прохождение электромагнитной волны через такой переход. Несмотря на очевидную простоту конструкции устройства, эта теория оказывается чрезвычайно сложной в математическом отношении и требует детального рассмотрения. Не исключено, что она станет предметом дальнейших исследований и последующих публикаций. Отметим лишь, что исключение электрического пробоя в волноводах достигается тем, что электрическое поле волны H_{10} "отрывается" от металлических стенок волноводов, "прижимается" к диэлектрику и концентрируется преимущественно на вершинах пирамидок. При этом направленность излучения диэлектрических вкладышей возрастает с увеличением их длины. Для нормальной работы устройства на практике оказалось достаточным выполне-

ния условия $2h + l \geq (3...4) \frac{\lambda_g}{2}$, где h — высота пирамидальной части, а l — длина диэлектрического волновода прямоугольного сечения.

Для изготовления диэлектрических вкладышей пригодны плотный пенопласт, полиметилметакрилат, полистирол или политетрафторэтилен, то есть материалы, обладающие малой диэлектрической проницаемостью (для уменьшения отражений в волновом тракте) и малыми потерями на сверхвысоких частотах.

Два последних материала являются наиболее подходящими для этой цели. Вкладыши пирамидальной формы для лучшего согласования смещены остроконечными вершинами по отношению к широким стенкам волноводов на $1,5 \dots 2 \text{ мм}$. Высота их пирамидальной части h подбирается экспериментально, и обычно оказывается достаточным, чтобы $h \geq 1,5 \lambda_g$ (где λ_g — длина волны в волноводе) при общей длине вкладыша — 170 мм . Высота прямоугольного участка вкладышей $l \leq \lambda_g/4$ и составляет несколько мм. Настройка и градуировка фазовращателя осуществляется с помощью генератора ГЗ-14А, измерительной линии Р1-12, низкочастотного усилителя и фазовращателя Ф4-3.

Принципиально важными являются результаты проверки предлагаемого устройства на высоком уровне мощности. Эксперимент проводился при импульсной мощности генератора $\sim 40 \text{ кВт}$ ($P_{cp} = 50 \text{ Вт}$). В качестве нагрузки служили или рулонная антенна ($\rho \leq 1,1$), или измеритель СВЧ мощ-

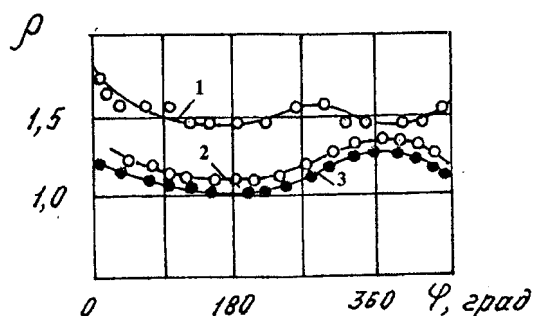


Рис. 3. Изменение коэффициента стоячей волны ρ в зависимости от фазового сдвига:

- 1) без согласующих диэлектрических вкладышей;
- 2) с вкладышами из полистирола на частоте 9250 МГц;
- 3) то же на частоте 8400 МГц

ности. При отсутствии вкладышей треск и сильные шумы в тракте фазовращателя значительно влияют на работу магнетронного генератора и не позволяют производить нормальное перемещение волноводов из-за возникающего СВЧ пробоя воздуха. Однако введение согласующих вкладышей позволяет практически исключить пробой в местах сочленения волноводов и на два порядка по сравнению с предыдущим случаем снизить уровень мощности, излучаемой в пространство и подвижного соединения волноводов различного поперечного сечения. При этом величина мощности, поглощенной двумя вкладышами в фазовращателе, не превышает 3 дБ. Эта величина хорошо согласуется с расчетным значением мощности, полученным на основе экспериментально измеренного коэффициента стоячей волны (КСВ) ($\rho = 1,06 \dots 1,15$), приведенного выше.

На рис. 3. для вкладыша, изготовленного из полистирола, представлена кривая изменения КСВ на входе фазовращателя в зависимости от угла сдвига фазы. При этом КСВ нагрузки составил 1,1. Из рисунка видно, что введение в тракт фазовращателя согласующих вкладышей уменьшает КСВ до $1,06 \dots 1,15$ при регулировании фазы приблизительно на 200° . С изменением частоты область минимума ρ изменяется незначительно. Расстояние между максимумами составляет $-\lambda_g/2$. Согласование устройства зависит от КСВ волноводных H-изгибов U-образного колена и нагрузки. Для уменьшения влияния нагрузки на фазовращатель перед нагрузкой включается ферритовый вентиль. КСВ U-образного колена между диэлектрическими вкладышами измеряется по методу 4-х емкостных зондов. Эта характеристика слабо зависит от угла сдвига фазы и составляет обычно $\rho \sim 1,15 \dots 1,25$.

Частотный диапазон фазовращателя определяется поперечными размерами волноводов — 1 и составляет от 8,2 до 12,5 ГГц. Стабильность во времени фазовращателя практически не зависит от температуры окружающей среды, поскольку изменения геометрических размеров вкладышей на несколько порядков меньше чем длина волны в волноводе.

Таким образом, предлагаемые диэлектрические переходы (вкладыши) обеспечивают надежную работу фазовращателя на высоком уровне мощности.

Их применение позволяет получить также хорошее согласование волноводов с различным поперечным сечением и в случае их неподвижного сочленения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. — М.: Высшая школа, 1970. — 440 с.
2. Протасевич Е.Т. Простые антенны для сверхвысоко-частотного зондирования плазмы в вакуумном объеме // Приборы и техника эксперимента. — 1995. — № 6. — С. 90–92.

УДК 378.16:681.3

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ УЧЕБНЫХ ПОСОБИЙ В КОМПЛЕКСЕ EduCAD

В.В. Романенко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники.
E-mail: voverkill@asu.tusur.ru

Рассматриваются различные аспекты создания мультимедийных учебных курсов в автоматизированном комплексе разработки компьютерных учебных пособий EduCAD. Приведены особенности написания компонентов комплекса, рассмотрены проблемы, связанные с их программной реализацией.

Введение

На кафедре автоматизированных систем управления Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники уже в течение нескольких лет коллектив разработчиков занимается проектированием и созданием различных компьютерных учебных пособий (КУП). Возникла необходимость в специализированной среде разработки КУП [1, 2].

На сегодняшний день в состав комплекса EduCAD входят следующие автоматизированные системы (АС):

1. EduCAD Textbook 2.0 – АС разработки гипертекстовых электронных учебников;
 2. EduCAD Control – АС контроля знаний. Состоит из двух подсистем – EduCAD Tests и EduCAD Programs, предназначенных для создания пакетов тестирования и проверки программ учащихся. Разрабатывается аспирантом кафедры АСУ М.В. Веретенниковым [3];
 3. EduCAD Presentation – АС создания презентационных программ и мультимедийных лекций;
 4. EduCAD Practice – динамический шаблон для создания комплексов лабораторно-практических работ по математическим дисциплинам.
- Ниже рассмотрены особенности разработки дан-

ных программ и некоторые особенности функционирования КУП, построенных на их основе. Комплекс разрабатывается в среде программирования Borland C++ Builder, что влияет на способы реализации программ, но несложно провести аналогию для других современных компиляторов, строящих приложения для ОС, поддерживающих ядро Win32.

Особенности представления данных

Основой функционирования комплекса является разработанный автором пакет визуальных компонентов. Самые главные из них – это компонент отображения гипертекстовой информации *THyperText*, компонент отображения векторной графической информации *TVectorPicture*, компонент воспроизведения мультимедийных презентаций *TEduCADPresentation* и компонент шаблона практических работ *TEduCADPractice*.

Компонент *THyperText* имеет встроенный интерпретатор разработанного специально для этих целей языка *ECHTL* (EduCAD HyperText Language). Язык разметки построен на теговой основе и имеет следующую структуру:

```
TXT ::= e | TAG TXT
TAG ::= <[/] NAME [= VAL]> | DATA
VAL ::= #HEX | DEC | STR
```

Здесь *e* – пустой символ, *NAME* – имя тега, пос-